

СХЕМОТЕХНИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРЕВА ПОДВИЖНЫМ ИСТОЧНИКОМ ТЕПЛА

Балан А.С., Симонов В.В., Трофименко Е.Г.

В основе метода расчета термических условий поверхностного нагрева – схемотехническая модель, опирающаяся, в свою очередь, на электротермическую аналогию физических явлений переноса. Построение схемотехнической модели начинали с создания физической модели объекта, его геометрического структурирования и определения способов моделирования внешнего теплоподвода от подвижного источника.

Рассмотрим нагрев объекта подвижным источником тепла путем сканирования его поверхности таким источником, создающим номинальный тепловой поток к объекту Q . Такой объект отличается достаточно высокой сложностью, поэтому выполняли его структурирование. При переходе к дискретизации модели объект представляли в виде отдельных элементов (рис. 1).

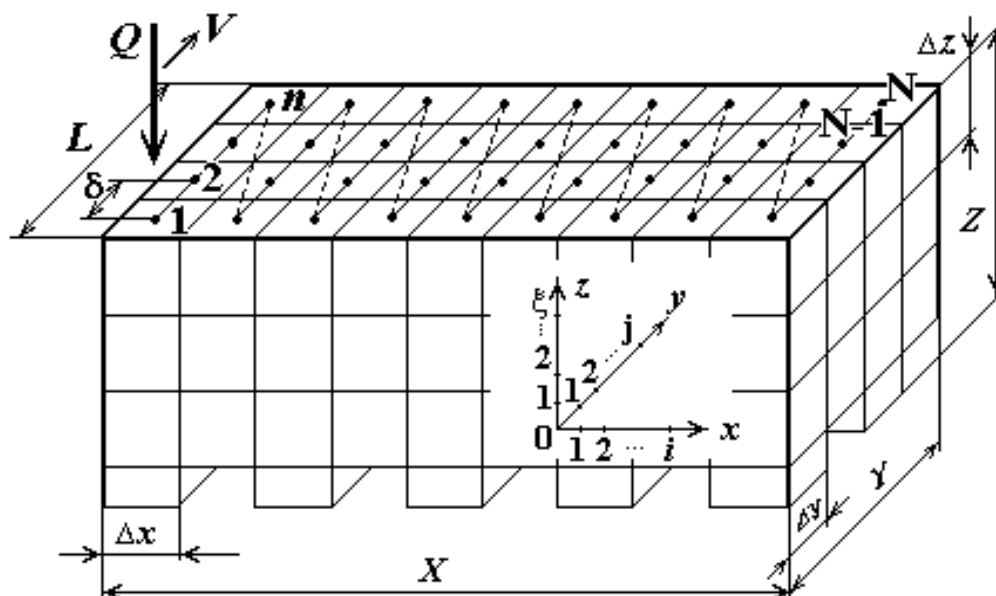


Рис. 1. Геометрическое структурирование объекта моделирования.

В соответствии с выполненным структурированием схема объекта нагрева в целом распадается на N элементарных ячеек, внутренняя структура которых одина, по n элементарных ячеек в строке одного прохода источника тепла вдоль оси Y . Перемещение источника вдоль поверхности нагрева моделировали в этом случае путем переключения точек подвода источников питания модели. В настоящей работе в такую систему внесены следующие изменения:

- группу элементов, содержащих до нескольких десятков деталей, заменяли макросом, что резко уменьшало общее количество деталей и повышало разрешающую способность и точность моделирования;

- в соответствии с принципом суперпозиции эффект от перемещения источника питания от элемента к элементу заменяли на суммарный эффект от им-

пульсного действия многих источников (рис. 2).

При этом полагали, что источник тепла двигается не непрерывно, а скачками, задерживаясь на каждой площадке на время, равное времени прохода этой площадки реальным источником, движущимся со скоростью V .

Длина строки L одного прохода источником тепла вдоль оси Y равна:

$$L = Y - \delta = L - \frac{L}{n} = \frac{L}{n}(n-1), \quad (1)$$

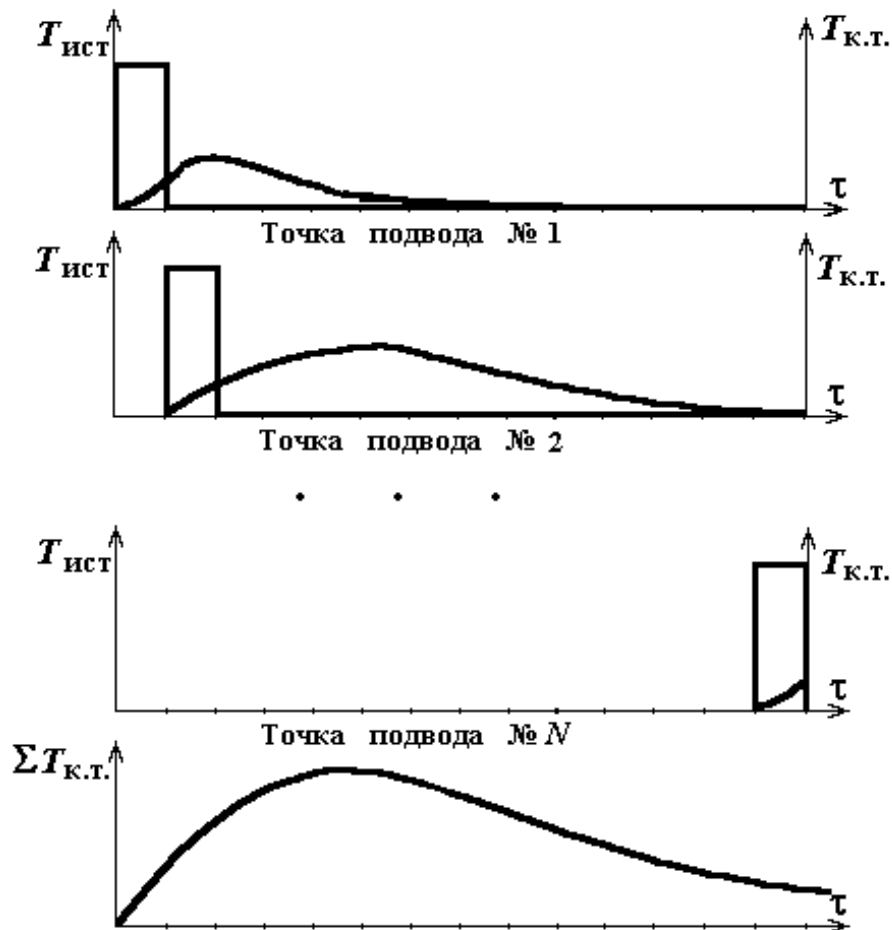


Рис. 2. Суммарный эффект от импульсного действия многих источников.

где $\delta = L/n$ – расстояние между двумя соседними точками воздействия импульсного источника тепла;

n – количество точек воздействия импульсного источника тепла в одной строке;

Y – длина исследуемого объекта.

Время переключения точек подвода импульсных источников тепла определяется как:

$$\tau_{\text{перекл.}} = \frac{\delta}{V} \quad (2)$$

Таким образом, осуществляется замена непрерывного процесса нагрева движущимся источником на сумму процессов нагрева различными источниками,

действующими импульсно в разных местах объекта и в разное время.

В результате такой замены в соответствии с принципом суперпозиции имели:

$$T_{\text{к.т.}}^{\text{подв.ист.}}(Q) = \sum_{i=1}^N T_{\text{к.т.}}^{\text{имп.ист.}Ni}(q_i), \quad (3)$$

где $T_{\text{к.т.}}^{\text{подв.ист.}}(Q)$ – суммарный температурный эффект нагрева от подвижного источника в контрольной точке;

$T_{\text{к.т.}}^{\text{имп.ист.}Ni}(q_i)$ – температурный эффект от действия i -го импульсного источника в контрольной точке.

Тепловой поток, входящий в уравнение (3), может быть представлен разложением прерывистой подачи тепла в ряд Фурье:

$$q = Q \left(a_0 + \frac{2}{\pi} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{k} \sin k\pi a_0 \cos 2k\pi a \right), \quad (4)$$

где q – эквивалентный тепловой поток;

a – период тепловой обработки;

a_0 – часть периода, на котором действует номинальный тепловой поток Q .

Величины a и a_0 определяются конфигурацией обрабатываемой поверхности, видом траектории сканирования и скоростью перемещения источника тепла V .

Фрагмент общей электрической модели поверхностного нагрева литейной формы струей натекающих раскаленных газов приведен на рис. 3.

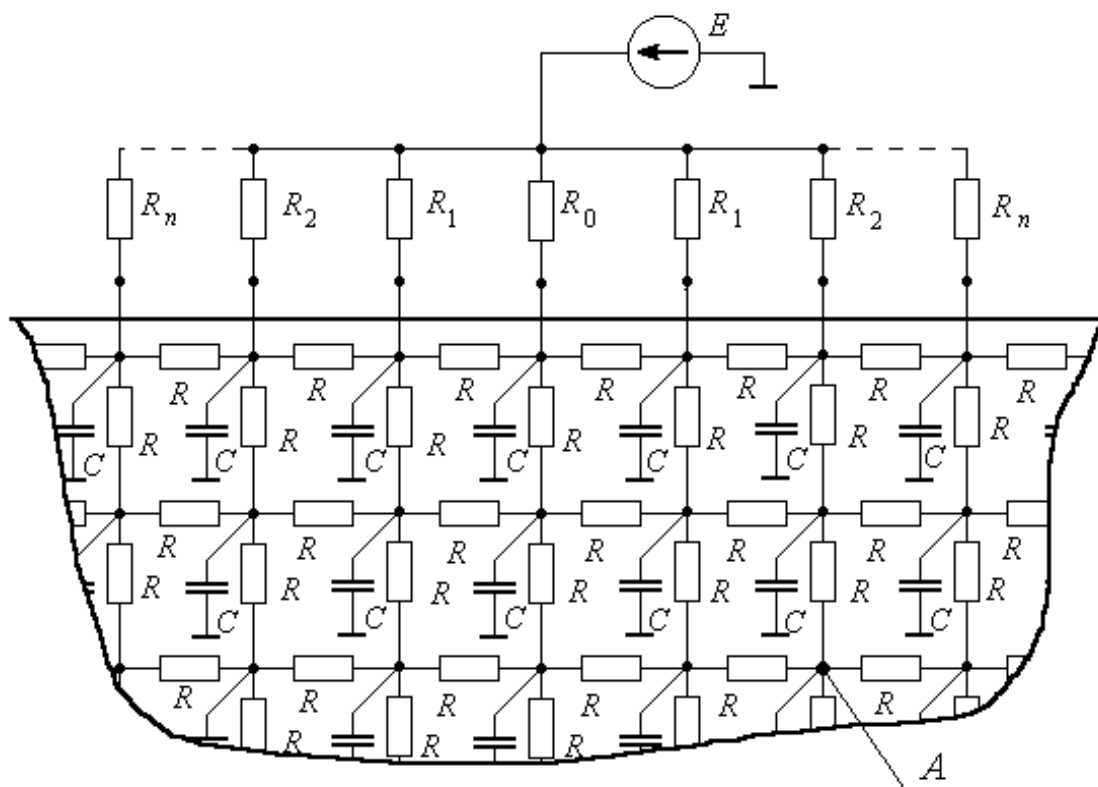


Рис. 3. Фрагмент схематической модели сканирования поверхностного нагрева.

На схеме источник E моделирует тепловой потенциал источника нагрева; резистор R_0 – коэффициент теплоотдачи в передней критической точке и ее окрестностях D ; R_1 – коэффициент теплоотдачи в точках, отстоящих на расстоянии $D \dots 2D$ от критической; $R_2 - 2D \dots 3D$; $R_n - (n - 1)D \dots nD$ от критической точки; резисторы R и конденсаторы C – теплофизические свойства материала формы.

Реализация такой электрической модели – весьма сложный и дорогой процесс, так как она требует изготовления сложной электрической схемы и специального механического устройства для перемещения подводящего электрода в соответствии с траекторией нагрева. Кроме того, не учитывается теплоотвод от обрабатываемой поверхности на тех участках, где в данный момент не осуществляется подвод тепла.

Все перечисленные недостатки были устранены при замене реальной электрической модели ее схемотехническим воплощением. Такая замена была осуществлена с помощью схемотехнической САПР MICRO-CAP V.

Съем информации в виде кинетики изменения напряжения в любой из узловых точек осуществляется в этой САПР автоматически с последующим пересчетом на кинетику нагрева соответствующей точки внутри формы.

В результате получаем температурное поле в плите, с помощью которого можно определить скорость ее нагревания в любой ее точке, температурные перепады внутри плиты, а, главное, можно контролировать прогрев до заданной температуры на заданной глубине, влияя на величину и другие характеристики теплового потока в зависимости от целей исследования.